

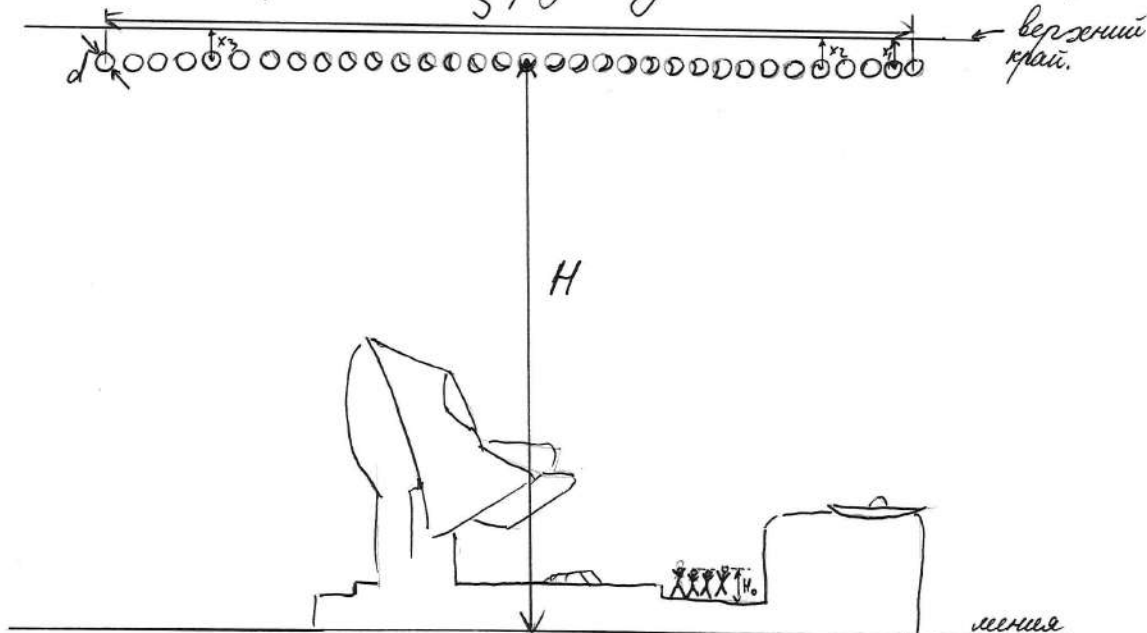
По условию нижняя граница изображения параллельна математическому горизонту. По фотографии видно, что Солнце движется практически параллельно нижней границе изображения \Rightarrow суммарная параллель Солнца практически параллельна горизонту. Такое может быть только вблизи полюсов. Т.к. Солнце над горизонтом, то сейчас полярный день. Затмение произошло 4 декабря. В это время вблизи Северного полюса - полярная ночь, а вблизи Южного - полярный день. Таким образом, изображение сделано вблизи Южного полюса, и на нём запечатлена полярная станция где-то на Антарктиде.

Определим масштаб фотографии. Для этого используем Солнце в качестве масштабной линейки. (эталоны).

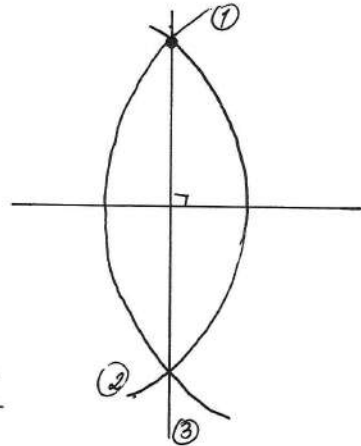
Его условный диаметр $\beta \approx 32'$. Измеряю диаметр Солнца до начала затмения для нескольких фотографий в разных направлениях. Получаю $d \approx 3 \text{ мм}$. Тогда масштаб

$$\mu = \frac{\beta}{d} = \frac{32'}{3 \text{ мм}} \approx 10,7 \frac{1}{\text{мм}}$$

Момент максимальной фазы соответствует направлению рогов "вверх", т.е. среднему положению Солнца.



Положение горизонта устанавливается надёжно по его границе справа и слева от здания. Проводим линию горизонта и опускаем к ней перпендикуляр, проходящий через центр среднего изображения Солнца:



По рисунку измеряют расстояние от центра Солнца до горизонта:

$H \approx 91 \text{ мм.}$

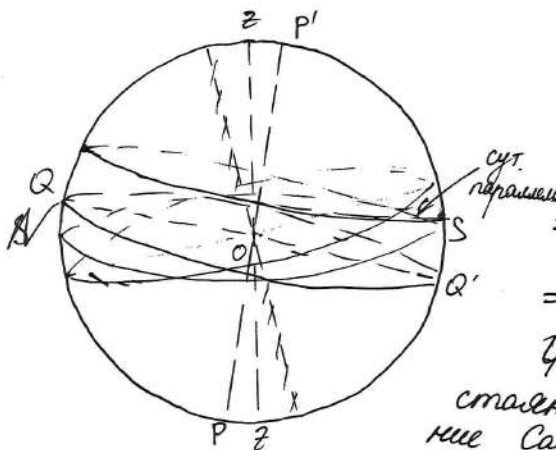
Тогда высота

$h = \mu \cdot H = 10,7 \frac{1}{\text{мм}} \cdot 91 \text{ мм} \approx 974' \approx 16,2^\circ \approx 16^\circ$

10,7	974 60
x 91	60
107	374
+ 963	360
973,7	62140
	120
	200

П.к. уточная параллель практически параллельна Солнцу практически параллельна горизонту, то $h \approx h_{в.к.}$ - высота верхней кульминации. Солнце кульминирует к северу от зенита \Rightarrow

$\Rightarrow h_{в.к.} = 90^\circ - \delta_0 + \varphi \Rightarrow$
 $\Rightarrow \varphi = h_{в.к.} + \delta_0 - 90^\circ$



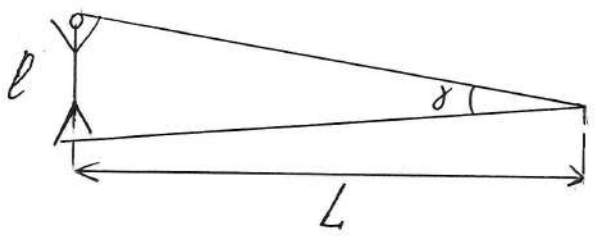
φ 12 - близко к дну димного Солнца стояния (21-22.12). Вблизи него склонение Солнца меняется слабо \Rightarrow можно считать, что склонение Солнца на 2-3° больше, чем $-23,5^\circ$, т.е.

$\delta_0 \approx -28,5^\circ$. Если посчитать φ , то оно получится $< -90^\circ$. Такой результат связан с погрешностью определения μ (размер $d \sim 3 \text{ мм} \Rightarrow$ имеет высокую погрешность). П.к. уточный путь Солнца параллельно горизонту, в качестве оценки можем взять $\varphi = -90^\circ$.

Чтобы определить расстояние до людей, измеряют высоту каждого из них и получают в среднем $H_0 \approx 3 \text{ м} \Rightarrow$ их условный размер $\lambda = \mu H_0 \approx 32'$. Средний рост человека примем равным $\ell \approx 1,8 \text{ м.}$

Страница 2 из 4

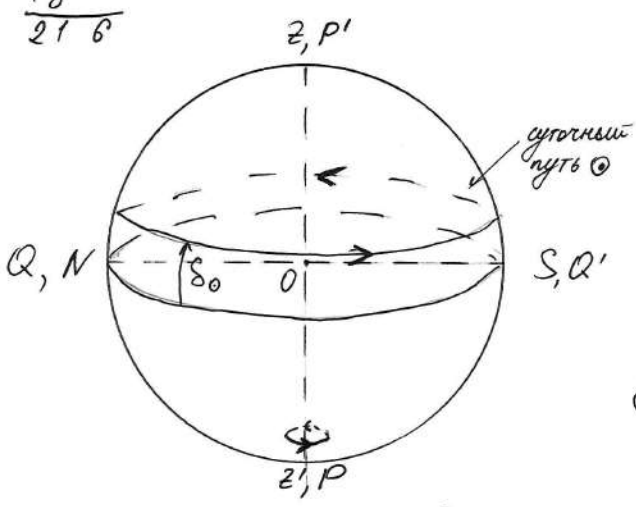
П.к. γ -мал, то можно считать, что в радианах $\gamma \approx \frac{l}{L} \Rightarrow L = \frac{l}{\gamma}$.



$$L = \frac{1,8}{\frac{32 \cdot \pi}{60 \cdot 180}} \approx \frac{18 \cdot 18}{\frac{1}{2} \cdot \pi} = \frac{18 \cdot 18 \cdot 2}{3,14} \approx \frac{18 \cdot 18 \cdot 2}{3} = 18 \cdot 6 \cdot 2 = 18 \cdot 12 \approx 216 \text{ м}$$

$\approx 210 \text{ м}$ (т.к. 216 - немого завышено, ведь $\pi > 3$).

$$\begin{array}{r} 18 \\ \times 12 \\ \hline + 36 \\ 18 \\ \hline 216 \end{array}$$



Небесная сфера вращается по часовой стрелке, если смотреть со стороны Северного полюса мира P \Rightarrow т.к. полюс P над горизонтом, то при взгляде на неб. все объекты ^{звезды} движутся влево (см. рис.). Действительно, в Северном полушарии Солнце движется с востока на запад "влево", а в Южном полушарии оно движется в

обратном направлении, т.е. вправо.

В своём суточном движении Солнце перемещается по небесной сфере с востока на запад, Луна в результате суточного движения перемещается в том же направлении. Однако в результате орбитального движения Луна перемещается с запада на восток, проходя $\approx 13^\circ$ по орбите за сутки. (Солнце тоже движется медленнее звезд по небесной сфере в результате орбитального движения Земли, но оно проходит $\approx 1^\circ$ в день с запада на восток). Таким образом, Луна движется по небесной сфере медленнее Солнца, отставая от него \Rightarrow относительно Солнца Луна движется вправо.

За всё время съёмки было сделано 32 кадра \Rightarrow между ними $N = 32$ интервала (беру все кадры для уменьшения погрешности).

По изображению определяю, что Солнце (его центр) прошло $S \approx 147$ мм. Этому соответствует дуга дуги $\theta = \mu \cdot S = 10,7 \frac{1}{\text{мм}} \cdot 147 \text{ мм} \approx 1573' \approx 26,2^\circ$.

$$\begin{array}{r} 147 \\ \times 10,7 \\ \hline 1029 \\ + 1470 \\ \hline 15729 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1573 \overline{) 60} \\ \underline{720} \\ 853 \\ \underline{860} \\ 130 \\ \underline{120} \\ 10 \end{array}$$

Солнце движется по малому кругу, соответствующему δ_0 , к дуге которого относится к экватору как $\cos \delta_0 \rightarrow$ умень-

шая ск-ть Солнца
 $T = 24$ часа - средние
 $\tau = \frac{Q}{\omega_0} = \frac{Q}{360^\circ} \cdot \frac{24 \times}{\cos \delta_0}$

$\omega_0 = \omega \cdot \cos \delta_0 = \frac{360^\circ}{T} \cdot \cos \delta_0$, где
 солнечные сутки. Тогда время обхода
 (углы θ - мал)

$\cos \delta_0 \approx 1 - \frac{\delta_0^2}{2}$, где $\delta_0 = -20,5^\circ \approx -20^\circ = -\frac{20}{180} \cdot \pi = -\frac{\pi}{9} \approx -\frac{3,14}{9} \approx -0,39$.

$$\begin{array}{r} 3,14 \overline{) 9} \\ \underline{628} \\ 272 \\ \underline{272} \\ 0 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0,39 \\ \times 0,39 \\ \hline 351 \\ + 117 \\ \hline 0,1521 \approx 0,15 \end{array}$$

$\cos \delta_0 = 1 - \frac{0,39^2}{2} \approx 1 - \frac{0,15}{2} \approx 1 - 0,08 = 0,92$.

$\tau = \frac{26,2}{360} \cdot \frac{24 \cdot 60}{0,92} = \frac{26,2 \cdot 24}{0,92 \cdot 6} = \frac{26,2 \cdot 24}{5,52} = \frac{628,8}{5,52} \approx \frac{628,8}{5,5} \approx \frac{629}{5,5} \approx 114$ мин.

$$\begin{array}{r} 26,2 \\ \times 24 \\ \hline 1048 \\ + 524 \\ \hline 628,8 \end{array}$$

Время между кадрами $t = \frac{\tau}{N} = \frac{114}{32} \approx 3,6$ мин.

$$\begin{array}{r} 114 \overline{) 32} \\ \underline{986} \\ 200 \\ \underline{198} \\ 20 \end{array}$$

* На самом деле фотографии Солнца ~~сделаны~~ пересвечены, но видно по разнице между средним фото и крайним, а

разн d от центрального круга без засветки. Если определять d по средней фото, достигнув Солнца до круга, все равно $d \sim 3$ мм, поэтому найденные величины имеют большую погрешность. Формально $\varphi = -90^\circ$ означает $h = -\delta_0$, но все величины имеют погрешность

* Параллельность углового пути горизонтальной проверил, сравнив отрезки x_1, x_2, x_3, \dots от центра Солнца до внешнего края изображения. $x_1 \approx x_2 \approx x_3, \dots$

Ответ: $h \approx 16^\circ$, $\varphi \approx -90^\circ$, $L \approx 210$ м, Солнце движется влево, Луна относительно него вправо, $t \approx 3,6$ мин.